



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

①2 Patentschrift
①0 DE 44 28 195 C 1

⑤1 Int. Cl.⁶:
H 01 L 21/8242
H 01 L 27/108 — G

②1 Aktenzeichen: P 44 28 195.1-33
②2 Anmeldetag: 9. 8. 94
④3 Offenlegungstag: —
④5 Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 20. 4. 95

DE 44 28 195 C 1

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

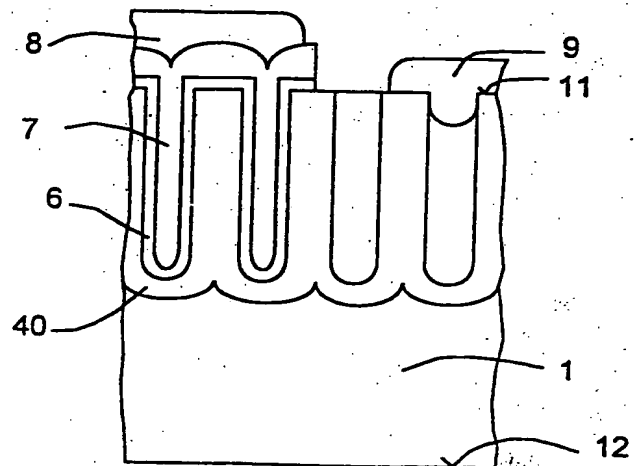
⑦3 Patentinhaber:
Siemens AG, 80333 München, DE

⑦2 Erfinder:
Willer, Josef, Dr., 85521 Riemerling, DE; Schäfer,
Herbert, Dr., 85635 Höhenkirchen-Siegertsbrunn,
DE; Wendt, Hermann, Dr., 85630 Grasbrunn, DE

⑤6 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht gezogene Druckschriften:
EP 05 28 281 A2
J.Appl.Cryst., Bd. 13, 1980, S. 31-33;
HEUBERGER, A.: Mikromechanik, Springer Verlag,
1989, S. 216-236;

⑤4 Verfahren zur Herstellung eines Siliziumkondensators

⑤7 Zur Herstellung eines Siliziumkondensators werden in einem n-dotierten Siliziumsubstrat (1) Lochöffnungen erzeugt, an deren Oberfläche durch Dotierung ein leitfähiges Gebiet (40) gebildet wird und deren Oberfläche mit einer dielektrischen Schicht (6) und einer leitfähigen Schicht (7) versehen wird. Um durch die Dotierung des leitfähigen Gebietes (40) bewirkte mechanische Verspannungen des Siliziumsubstrats (1) zu kompensieren, wird das leitfähige Gebiet (40) zusätzlich mit Germanium dotiert, das aus einer mit Germanium dotierten Schicht ausdiffundiert.



DE 44 28 195 C 1

Aus der EP 05 28 281 A2 ist ein Siliziumkondensator bekannt. Dieser umfaßt ein n-dotiertes Siliziumsubstrat, dessen Oberfläche durch eine elektrochemische Ätzung in einem fluoridhaltigen, sauren Elektrolyten, in dem das Substrat als Anode verschaltet ist, auf charakteristische Weise strukturiert ist. Bei der elektrochemischen Ätzung bilden sich an der Oberfläche des Substrates mehr oder weniger regelmäßig angeordnete Lochstrukturen. Die Lochstrukturen weisen ein Aspektverhältnis bis in den Bereich 1 : 1000 auf. Die Oberfläche der Lochstrukturen ist mit einer dielektrischen Schicht und einer leitfähigen Schicht versehen. Leitfähige Schicht, dielektrische Schicht und Siliziumsubstrat bilden einen Kondensator, in dem wegen der durch die Lochstrukturen bewirkten Oberflächenvergrößerung spezifische Kapazitäten bis zu $100 \mu\text{V}/\text{mm}^2$ erzielt werden. Um die Leitfähigkeit des Substrats zu erhöhen, wird vorgeschlagen, an der Oberfläche der Lochstrukturen ein n^+ -dotiertes Gebiet vorzusehen.

Üblicherweise werden Siliziumkondensatoren in Siliziumscheiben hergestellt. Dabei wird eine Verbiegung der Siliziumscheiben festgestellt, die mit mechanischen Verspannungen durch das n^+ -dotierte Gebiet an der Oberfläche der Lochstrukturen, die bis zu $300 \mu\text{m}$ tief sind, in Verbindung gebracht wird. Diese Verbiegung der Siliziumscheibe führt zu Problemen bei weiteren Prozeßschritten wie Lithographie, Scheibendünnung und Vereinzelung, die zum Einbau des Siliziumkondensators in ein Gehäuse erforderlich sind.

Aus A. Fukuhara et al, J. Appl. Cryst. (1980), Bd. 13, Seite 31 bis 33, ist eine Untersuchung über die Kompensation mechanischer Verspannungen in Siliziumkristallen bekannt. Es wird eine der Dotierstoffkonzentration im wesentlichen proportionale Verspannung beobachtet, die durch eine zusätzliche Dotierung mit Germanium ausgeglichen werden kann. Es werden Schichten von 1 bis $5 \mu\text{m}$ Tiefe mit Germanium und/oder Bor dotiert. Das Germanium wird durch Diffusion eingebracht, wobei bei einer Temperatur von 1473 K eine Ausheilzeit von 14 Tagen erforderlich ist.

Aus A. Heuberger, Mikromechanik, Springer-Verlag 1989, S. 216—236 ist bekannt, daß in der Mikromechanik als Ätzstoppschichten verwendete hoch Bor-dotierte Siliziumschichten, die epitaktisch auf Siliziumsubstrate aufgewachsen werden, Verbiegungen der Substrate verursachen, die durch zusätzliches Einbringen von z. B. Germanium in die Bor-dotierte Schicht kompensiert werden.

Der Erfindung liegt das Problem zugrunde, ein weiteres Verfahren zur Herstellung eines Siliziumkondensators anzugeben, bei dem eine Verbiegung des Siliziumsubstrats vermieden wird und das in einem Fertigungsprozeß einsetzbar ist.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein Verfahren nach Anspruch 1. Weitere Ausgestaltungen der Erfindung gehen aus den übrigen Ansprüchen hervor.

In dem erfindungsgemäßen Verfahren werden in einer Hauptfläche eines n-dotierten Siliziumsubstrates durch elektrochemisches Ätzen eine Vielzahl von Lochöffnungen erzeugt. Das elektrochemische Ätzen erfolgt vorzugsweise in einem fluoridhaltigen, sauren Elektrolyten, mit dem die Hauptfläche in Kontakt steht und zwischen den und das Siliziumsubstrat eine Spannung so angelegt wird, daß das Siliziumsubstrat als Anode verschaltet wird. Dabei wird eine der Hauptfläche ge-

genüberliegende Rückseite des Siliziumsubstrates beleuchtet.

Entlang der Oberfläche der Lochöffnungen wird ein leitfähiges Gebiet erzeugt, das mit elektrisch aktivem Dotierstoff versehen ist. Als elektrisch aktiver Dotierstoff wird in diesem Zusammenhang Dotierstoff bezeichnet, der die Leitfähigkeit des leitfähigen Gebietes bestimmt. Als elektrisch aktiver Dotierstoff wird insbesondere Phosphor, Bor oder Arsen verwendet.

Auf der Oberfläche der Lochöffnungen wird eine mit Germanium dotierte Schicht erzeugt, durch die das leitfähige Gebiet mit Germanium dotiert wird.

Gemäß einer ersten Ausführungsform wird das leitfähige Gebiet durch Ausdiffusion von Germanium aus einer mit Germanium dotierten Schicht erzeugt. Bei der Ausdiffusion aus einer Germanium-dotierten Schicht bei einer Temperatur von 1400 K diffundiert Germanium in eine Tiefe von 0,2 bis $0,5 \mu\text{m}$ in 4 bis 25 Stunden. Bei einer Temperatur von 1473 K wird eine Diffusionslänge von $0,2 \mu\text{m}$ nach 0,56 Stunden und eine Diffusionslänge von $0,5 \mu\text{m}$ nach 3,5 Stunden erreicht. Derartige Diffusionszeiten sind in einem Fertigungsprozeß vertretbar.

Vorzugsweise wird die mit Germanium dotierte Schicht aus Silikatglas gebildet, das in einer CVD-Abscheidung bei Atmosphärendruck (APCVD) unter Verwendung eines $\text{Ge}(\text{OCH}_3)_4$ und $\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$ enthaltenen Prozeßgases abgeschieden wird. Unter Verwendung dieser Prozeßgase und O_3 hergestelltes mit Germanium dotiertes Silikatglas ist aus S. Fisher et al, Solid State Technology, Sept. 1993, Seite 55 bis 64, bekannt. Es wurde als Zwischenoxid vorgeschlagen. Die Möglichkeit, es als Diffusionsquelle für Germanium zu verwenden, ist aus der Literatur nicht bekannt. In dem erfindungsgemäßen Verfahren wird bei der Abscheidung O_2 oder O_3 zugesetzt. Die Verwendung von O_2 bedeutet eine Prozeßvereinfachung. Bei Verwendung von O_3 wird eine verbesserte Kantenbedeckung erreicht.

Es liegt im Rahmen der Erfindung, Germanium und den elektrisch aktiven Dotierstoff gleichzeitig in die Oberfläche der Lochöffnungen einzudiffundieren zur Herstellung des leitfähigen Gebietes.

In Fällen, in denen die Diffusionslänge des elektrisch aktiven Dotierstoffes größer als diejenige von Germanium ist, ist es vorteilhaft, Germanium mit einem entsprechenden zeitlichen Vorlauf zu diffundieren, um die Dotierprofile des Germaniums und des elektrisch aktiven Dotierstoffes in dem leitfähigen Gebiet im wesentlichen zur Überlappung zu bringen. Dieses erfolgt zum Beispiel dadurch, daß auf die mit Germanium dotierte Schicht nach der Vorlaufzeit für die Germaniumdiffusion eine mit dem elektrischen Dotierstoff, insbesondere Phosphor, Bor oder Arsen dotierte Silikatglasschicht aufgebracht wird, aus der der elektrisch aktive Dotierstoff ausdiffundiert wird. Alternativ kann der elektrisch aktive Dotierstoff auch durch Gasphasendiffusion eingebracht werden.

Um die mechanischen Spannungen zu minimieren, liegt es im Rahmen der Erfindung, die Germaniumdiffusion und die Diffusion des elektrisch aktiven Dotierstoffes mehrfach durchzuführen. Dazu werden insbesondere die als Dotierstoffquelle verwendeten Schichten entfernt und nochmals aufgebracht.

Die mit Germanium dotierte Schicht wird entfernt, ehe auf die Oberfläche des leitfähigen Gebietes eine dielektrische Schicht und darauf eine elektrisch leitfähige Schicht aufgebracht werden. Die leitfähige Schicht und das leitfähige Gebiet werden jeweils mit einem

Kontakt versehen. Die Kontakte können sowohl im Bereich der Hauptfläche als auch auf der Hauptfläche und der Rückseite angeordnet werden.

Gemäß einer anderen Ausführungsform der Erfindung wird auf die Oberfläche der Lochöffnungen durch Epitaxie eine mit Germanium dotierte Siliziumschicht aufgewachsen. Dazu wird bei der Epitaxie eine Germanium enthaltende Verbindung, insbesondere GeH_4 zugegeben. Die mit Germanium dotierte Schicht wird vorzugsweise in einer Dicke zwischen 10 und 100 nm aufgewachsen. Der elektrisch aktive Dotierstoff wird anschließend durch Gasphasendiffusion oder Ausdiffusion aus einer mit dem elektrisch aktiven Dotierstoff versehenen Schicht eingebracht. Das leitfähige Gebiet bildet sich dabei in der bei der Epitaxie aufgewachsenen Siliziumschicht und der benachbarten Oberfläche der Lochöffnungen. Temperatur und Zeit für die Ausdiffusion des elektrisch aktiven Dotierstoffes werden so gewählt, daß das auseinanderlaufende Germaniumprofil mit dem Profil des elektrisch aktiven Dotierstoffes zur Deckung gebracht wird.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird der elektrisch aktive Dotierstoff während der Epitaxie in das Gitter eingebaut.

Zum Ausgleich stark unterschiedlicher Diffusionslängen von Germanium und dem elektrisch aktiven Dotierstoff ist es vorteilhaft, auf die mit Germanium dotierte Siliziumschicht durch Epitaxie eine weitere undotierte Siliziumschicht abzuschneiden, bevor der elektrisch aktive Dotierstoff eingetrieben wird.

In dieser Ausführungsform der Erfindung verbleibt die mit Germanium dotierte Siliziumschicht und gegebenenfalls die weitere Siliziumschicht, die durch Epitaxie aufgewachsen sind, als Teil des leitfähigen Gebietes auf der Oberfläche der Lochöffnungen. Auf die Oberfläche des leitfähigen Gebietes wird anschließend die dielektrische Schicht und die leitfähige Schicht aufgebracht.

Durch die Germaniumdotierung soll in dem erfindungsgemäßen Verfahren die durch die Dotierung mit dem elektrisch aktiven Dotierstoff verursachte mechanische Verspannung im leitfähigen Gebiet ausgeglichen werden. Da die Tiefe der Lochöffnungen bis zu 300 μm beträgt und die Gesamtdicke von üblicherweise verwendeten Siliziumscheiben um 600 μm , beträgt ist die mechanische Verspannung im leitfähigen Gebiet mit einer merklichen Verbiegung der Scheibe verbunden. Die mechanischen Verspannungen werden dadurch bewirkt, daß bei der Dotierung auf einem substitutionellen Gitterplatz im Siliziumkristall ein elektrisch aktives Dotierstoffatom eingebaut wird, dessen kovalenter Bindungsradius sich von dem des Siliziumatoms unterscheidet. Ein Phosphoratom hat im Siliziumkristall zum Beispiel einen 6 Prozent kleineren kovalenten Bindungsradius als ein entsprechendes Siliziumatom, so daß es eine Kontraktion des Kristallgitters verursacht. Dieser Effekt ist um so stärker, je höher die Dotierstoffkonzentration ist.

Die Gitterverzerrung kann zu einer hohen Versetzungsdichte führen. Werden eine Vielzahl von Siliziumkondensatoren in einer Siliziumscheibe hergestellt, so kommt es zu einer Scheibenverbiegung. Da üblicherweise verwendete Fertigungsanlagen, wie zum Beispiel konventionelle Lithographiegeräte, ausschließlich für ebene Substrate ausgelegt sind, ist es im Hinblick auf optimierte Fertigungsausbeuten wichtig, prozeßbedingtes Verbiegen von Substratscheiben zu vermeiden.

In dem erfindungsgemäßen Verfahren wird die Stö-

rung des Gitters durch die elektrisch aktiven Dotierstoffe durch eine zusätzliche Dotierung mit Germanium ausgeglichen. Die Dotierstoffkonzentrationen werden dabei so aufeinander eingestellt, daß eine Verbiegung vermieden wird. Bei einer Borkonzentration von $1,1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ ist dafür eine Germaniumkonzentration von $8 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ erforderlich. Solange die Verzerrung elastisch ist, besteht zwischen beiden Konzentrationen ein linearer Zusammenhang, d. h. geringere Borkonzentrationen erfordern eine entsprechend geringere Germaniumkonzentration. Bei Verwendung von Phosphor mit einer Konzentration von z. B. $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ ist eine Konzentration des Germaniums von ca. $1,2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ ausreichend. Solange die maximale elastische Verzerrung $\Delta l_{\text{max}}/l$ von ca. 5×10^{-4} nicht überschritten wird, sind die erforderlichen Konzentrationen annähernd proportional. Durch Fehlanpassung des Gitters oder Überschreiten des elastischen Bereiches können jedoch auch andere Konzentrationsverhältnisse nötig sein, um die Verbiegung zu vermeiden.

Germanium hat den Vorteil, daß es einerseits elektrisch neutral ist, andererseits eine hohe Löslichkeit in Silizium aufweist und daß es einen größeren kovalenten Bindungsradius im Siliziumkristall als die üblicherweise zur Herstellung von Siliziumbauelementen verwendeten elektrisch aktiven Dotierstoffe Bor und Phosphor aufweist.

Im folgenden wird die Erfindung anhand von Ausführungsbeispielen und der Figuren näher erläutert.

Fig. 1 zeigt ein Siliziumsubstrat mit Lochöffnungen.

Fig. 2 zeigt das Siliziumsubstrat nach Aufbringen einer Germanium-dotierten Schicht und Ausdiffusion von Germanium.

Fig. 3 zeigt das Siliziumsubstrat nach Aufbringen einer mit einem elektrisch aktiven Dotierstoff dotierten Schicht und Ausdiffusion dieses Dotierstoffes.

Fig. 4 zeigt das Siliziumsubstrat nach Abscheidung einer dielektrischen Schicht und einer leitfähigen Schicht und Bildung von Kontakten zur leitfähigen Schicht und zum leitfähigen Gebiet.

Fig. 5 zeigt ein Siliziumsubstrat mit Lochöffnungen, auf deren Oberfläche eine Germanium-dotierte Siliziumschicht aufgewachsen ist.

Fig. 6 zeigt das Siliziumsubstrat nach Aufwachsen einer weiteren, undotierten Siliziumschicht und Eintreiben von elektrisch aktivem Dotierstoff zur Bildung eines leitfähigen Gebietes.

Fig. 7 zeigt das Siliziumsubstrat nach Abscheidung einer dielektrischen Schicht und einer leitfähigen Schicht.

Ein Siliziumsubstrat 1 aus n-dotiertem, einkristallinem Silizium, das einen spezifischen Widerstand von 5 Ohm \times cm aufweist, wird durch elektrochemisches Ätzen an einer Hauptfläche 11 mit einer Vielzahl von Lochöffnungen 2 versehen (siehe Fig. 1).

Dazu wird die Hauptfläche 11 mit einem Elektrolyten in Kontakt gebracht. Als Elektrolyt wird zum Beispiel eine 6 gewichtsprozentige Flußsäure (HF) verwendet. Das Siliziumsubstrat 1 wird als Anode mit einem Potential von 3 Volt beaufschlagt. Das Siliziumsubstrat 1 wird von einer der Hauptfläche 11 gegenüberliegenden Rückseite 12 her beleuchtet. Dabei wird eine Stromdichte von 10 mA/cm² eingestellt. Bei der elektrochemischen Ätzung bewegen sich Minoritätsladungsträger in dem n-dotierten Silizium zu der mit dem Elektrolyten in Kontakt stehenden Hauptfläche 11. An der Hauptfläche 11 bildet sich eine Raumladungszone aus. Da die Feldstärke im Bereich von Vertiefungen in der Hauptfläche

11 größer ist als außerhalb davon, bewegen sich die Minoritätsladungsträger bevorzugt zu diesen Punkten. Dadurch kommt es zu einer Strukturierung der Hauptfläche 11. Je tiefer eine anfänglich kleine Unebenheit durch die Ätzung wird, desto mehr Minoritätsladungsträger bewegen sich dorthin und desto stärker ist der Ätzangriff an dieser Stelle.

Die Lochöffnungen 2 beginnen von Unebenheiten in der Hauptfläche 11 aus zu wachsen, die mit statistischer Verteilung in jeder Oberfläche vorhanden sind. Um eine gleichmäßige Verteilung der Lochöffnungen 2 zu erzielen, ist es vorteilhaft, die Hauptfläche 11 vor der elektrochemischen Ätzung gezielt mit Unebenheiten zu versehen, die als Keim für den Ätzangriff bei der nachfolgenden elektrochemischen Ätzung wirken. Diese Unebenheiten können zum Beispiel mit Hilfe konventioneller Photolithographie hergestellt werden.

Nach ungefähr 180 Minuten Ätzzeit weisen die Lochöffnungen 2 einen Durchmesser von 2 µm bei einer Tiefe von 175 µm auf.

Anschließend wird das Siliziumsubstrat 1 gründlich mit Wasser gespült.

In einem CVD-Verfahren bei Atmosphärendruck wird eine mit Germanium dotierte Schicht 3 abgeschieden. Die mit Germanium dotierte Schicht 3 wird unter Verwendung eines $\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$, $\text{Ge}(\text{OCH}_3)_4$ und O_3 enthaltenden Prozeßgases aus dotiertem Silikatglas hergestellt. Dabei wird Atmosphärendruck und eine Temperatur im Bereich 300°C bis 500°C eingestellt. Die mit Germanium dotierte Schicht 3 wird in einer Dicke von 100 nm bis 300 nm abgeschieden (siehe Fig. 2).

In einem Tempersschritt bei 1400 K wird in einer Diffusionszeit von 25 h ein Germanium-dotiertes Gebiet 4 erzeugt.

Auf die mit Germanium dotierte Schicht 3 wird nachfolgend in einem CVD-Verfahren eine mit elektrisch aktivem Dotierstoff dotierte Schicht 5 abgeschieden (siehe Fig. 3). Als elektrisch aktiver Dotierstoff wird zum Beispiel Bor oder Phosphor verwendet. Die dotierte Schicht 5 wird in einer Dicke von zum Beispiel 100 nm abgeschieden. In einem weiteren Tempersschritt bei 1400 K werden der elektrisch aktive Dotierstoff und das Germanium gemeinsam weiter eingetrieben. Nach einer Diffusionszeit von 2,5 h decken sich die Dotierstoffprofile von Germanium und dem elektrisch aktiven Dotierstoff und bilden ein leitfähiges Gebiet 40. Bei Bor dauert es ca. 9 Stunden. In dem leitfähigen Gebiet 40 wird eine Dotierstoffkonzentration von $1,1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ Bor und $8 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ Germanium oder $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ Phosphor und $1,2 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ Germanium eingestellt. Dadurch wird einerseits eine ausreichende Leitfähigkeit des dotierten Gebietes 40, das im Siliziumkondensator eine Kondensatorelektrode bildet, erzielt und andererseits eine Verbiegung des Siliziumsubstrats 1 wirksam vermieden. Die Tiefe des leitfähigen Gebietes 40 beträgt z. B. 0,5 µm.

Die mit Germanium dotierte Schicht 3 und die dotierte Schicht werden mit 10 gewichtsprozentiger Flußsäure entfernt.

Zur Fertigstellung des Siliziumkondensators werden anschließend eine dielektrische Schicht 6 und eine leitfähige Schicht 7 aufgebracht und strukturiert (siehe Fig. 4). Die dielektrische Schicht 6 wird vorzugsweise durch kombinierte Erzeugung von SiO_2 und Si_3N_4 als Mehrschicht mit einer Schichtenfolge $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2$ gebildet, da dieses Material eine für einen großflächigen Kondensator ausreichend geringe Defektdichte aufweist. Die leitfähige Schicht 7 wird zum

Beispiel aus n^+ -dotiertem Polysilizium gebildet. Auf die Oberfläche der leitfähigen Schicht 7 wird ein erster Kontakt 8 und auf die durch die Strukturierung der dielektrischen Schicht 6 und leitfähigen Schicht 7 freigelegte Oberfläche des dotierten Gebietes 40 ein zweiter Kontakt 9 aufgebracht. Der erste Kontakt 8 und der zweite Kontakt 9 werden zum Beispiel aus Aluminium gebildet.

In einem weiteren Ausführungsbeispiel werden in einer Hauptfläche 11' eines Siliziumsubstrats 1', wie anhand von Fig. 1 beschrieben, durch elektrochemisches Ätzen Lochöffnungen 2' gebildet (siehe Fig. 5). Der spezifische Widerstand des Siliziumsubstrates 1' und die Abmessungen der Lochöffnungen 2' entsprechen denen anhand von Fig. 1 beschriebenen.

In einem Epitaxiereaktor wird auf die Oberfläche der Lochöffnungen 2' eine mit Germanium dotierte Siliziumschicht 3' aufgewachsen, die eine Dicke von 10 bis 100 nm aufweist.

Die Epitaxie erfolgt unter Verwendung von SiH_2Cl_2 , GeH_4 und inerten Trägergasen bei einer Temperatur von 575°C und einem Druck von 66,7 Pa (0,5 Torr). Das Mischungsverhältnis von SiH_2Cl_2 und GeH_4 wird so eingestellt, daß die Germanium-dotierte Schicht 2' 10 Atomprozent Germanium enthält.

Unter Verwendung von SiH_2Cl_2 und inerten Trägergasen wird in dem Epitaxiereaktor anschließend eine undotierte Siliziumschicht 4' in einer Dicke von zum Beispiel 20 nm aufgewachsen (siehe Fig. 6). Dabei werden im Epitaxiereaktor eine Temperatur von 650°C und ein Druck von 66,7 Pa (0,5 Torr) eingehalten.

Anschließend wird elektrisch aktiver Dotierstoff, zum Beispiel Bor oder Phosphor, in die undotierte Siliziumschicht 4' und die Germanium-dotierte Siliziumschicht 3' eindiffundiert. Dieses erfolgt zum Beispiel durch Gasphasendiffusion unter Verwendung von Phosphin oder Boran. Dabei wird eine Temperatur von 1400 K eingehalten. Bei der Eindiffusion des elektrisch aktiven Dotierstoffes kommt es zu einem Auseinanderlaufen des Germaniumprofils in der Germanium-dotierten Siliziumschicht 3'. Germanium diffundiert dabei sowohl in die undotierte Siliziumschicht 4' als auch in die angrenzende Oberfläche des Siliziumsubstrats 1'. Die Diffusionstemperatur und -zeit werden so eingestellt, daß der elektrisch aktive Dotierstoff genau so weit in das Siliziumsubstrat 1' eindiffundiert wie das Germanium. Dadurch bildet sich an der Oberfläche der Lochöffnungen ein dotiertes Gebiet 5'. Die Dotierstoffprofile des Germaniums und des elektrisch aktiven Dotierstoffes erstrecken sich über die undotierte Siliziumschicht 4', die Germanium-dotierte Siliziumschicht 3' und das dotierte Gebiet 5', die gemeinsam ein leitfähiges Gebiet 40' bilden.

Das Eindiffundieren des elektrisch aktiven Dotierstoffes kann auch durch Abscheidung einer entsprechend dotierten Silikatglasschicht und Ausdiffusion aus der Silikatglasschicht erfolgen, die nach der Ausdiffusion wieder entfernt werden muß.

Der Siliziumkondensator wird durch Abscheidung einer dielektrischen Schicht 6' zum Beispiel aus $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2$ und einer leitfähigen Schicht 7' aus zum Beispiel n^+ -dotiertem Polysilizium fertiggestellt (siehe Fig. 7). Die leitfähige Schicht 7' und das leitfähige Gebiet 40' werden anschließend mit metallischen Kontakten versehen (nicht dargestellt). Die Kontakte können beide im Bereich der Hauptfläche 11' angeordnet werden, wobei eine entsprechende Strukturierung der dielektrischen Schicht 6' und der leitfähigen Schicht 7'

erforderlich ist. Alternativ kann ein Kontakt im Bereich der Hauptfläche auf der leitfähigen Schicht angeordnet werden und ein Kontakt auf einer der Hauptfläche 11' gegenüberliegenden Rückseite.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung mindestens eines Siliziumkondensators,

- bei dem in einer Hauptfläche (11) eines n-dotierten Siliziumsubstrates (1) durch elektrochemisches Ätzen eine Vielzahl von Lochöffnungen (2) erzeugt werden,
- bei dem entlang der Oberfläche der Lochöffnungen (2) ein mit elektrisch aktivem Dotierstoff versehenes leitfähiges Gebiet (40) erzeugt wird,
- bei dem auf der Oberfläche der Lochöffnungen (2) eine mit Germanium dotierte Schicht (3) erzeugt wird, durch die das leitfähige Gebiet (40) mit Germanium (4) dotiert wird,
- bei dem auf die Oberfläche des leitfähigen Gebietes (40) eine dielektrische Schicht (6) und eine leitfähige Schicht (7) aufgebracht werden und
- bei dem die leitfähige Schicht (7) und das leitfähige Gebiet (40) jeweils mit einem Kontakt (8,9) versehen werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem das leitfähige Gebiet (40) durch Ausdiffusion aus der mit Germanium dotierten Schicht (3) mit Germanium (4) dotiert wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, bei dem die mit Germanium dotierte Schicht (3) durch CVD-Abscheidung bei Atmosphärendruck unter Verwendung eines $\text{Ge}(\text{OCH}_3)_4$ und $\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$ enthaltenden Prozessgases abgeschieden wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem auf der Oberfläche der Lochöffnungen (2') durch Epitaxie eine Siliziumschicht (3') gebildet wird, die durch Zugabe einer Germanium enthaltenden Verbindung bei der Epitaxie insitu mit Germanium dotiert wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4,

- bei dem durch Epitaxie auf die mit Germanium dotierte Siliziumschicht (3') eine weitere undotierte Siliziumschicht (4') aufgewachsen wird,
- bei dem das leitfähige Gebiet (40') in der mit Germanium dotierten Siliziumschicht (3'), in der undotierten Siliziumschicht (4') und der angrenzenden Oberfläche (5') der Lochöffnungen (2) gebildet wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei dem der elektrisch aktive Dotierstoff durch Ausdiffusion aus einer mit dem elektrisch aktiven Dotierstoff dotierten Schicht (5) in das leitfähige Gebiet (40) eingebracht wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, bei dem das leitfähige Gebiet (40) mit einer Dotierstoffkonzentration zwischen $5 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ und $8 \cdot 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ Phosphor und zwischen $5 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ und $5 \cdot 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ Germanium oder zwischen $3 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ und $3 \cdot 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ Bor und zwischen $5 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ und $5 \cdot 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ Germanium versehen wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7,

- bei dem die elektrochemische Ätzung zur Bildung der Lochöffnungen (2) in einem fluo-

ridhaltigen, sauren Elektrolyten durchgeführt wird, mit dem die Hauptfläche (11) in Kontakt steht und zwischen den und das Siliziumsubstrat (1) eine Spannung so angelegt wird, daß das Siliziumsubstrat (1) als Anode verschaltet wird,

- bei dem eine der Hauptfläche (11) gegenüberliegende Rückseite (12) des Siliziumsubstrates (1) während der elektrochemischen Ätzung beleuchtet wird.

9. Verfahren nach Anspruch 8, bei dem die Lochöffnungen (2) mit Durchmessern im Bereich zwischen $0,5 \mu\text{m}$ und $10 \mu\text{m}$ und mit Tiefen im Bereich zwischen $50 \mu\text{m}$ und $300 \mu\text{m}$ erzeugt werden, wobei die Lochöffnungen (2) ein Aspektverhältnis im Bereich zwischen 30 und 300 aufweisen.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, bei dem die dielektrische Schicht (6) durch kombinierte Bildung von SiO_2 und Si_3N_4 als Mehrfachschicht mit einer Schichtenfolge $\text{SiO}_2/\text{Si}_3\text{N}_4/\text{SiO}_2$ gebildet wird.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, bei dem die leitfähige Schicht (7) durch Gasphasenabscheidung von dotiertem Polysilizium gebildet wird.

Hierzu 4 Seite(n) Zeichnungen

- Leerseite -

FIG 3

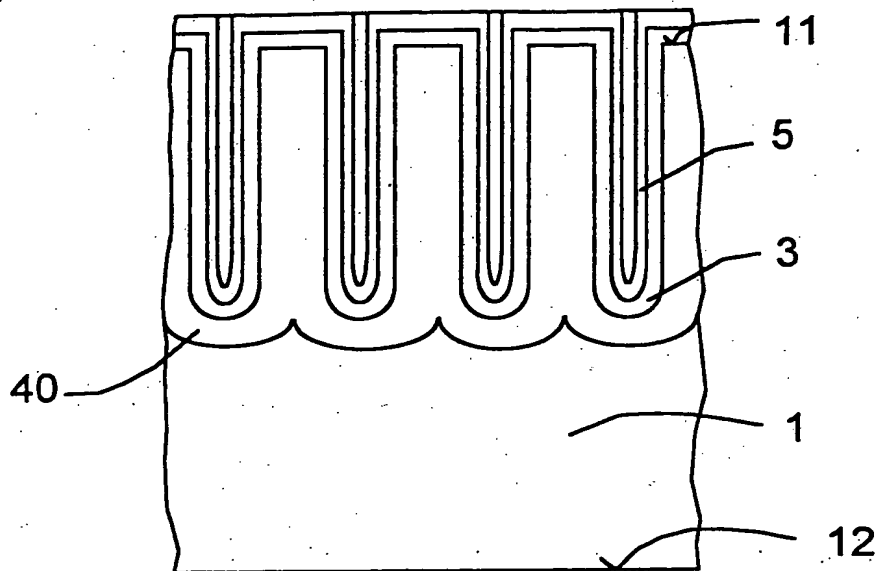


FIG 4

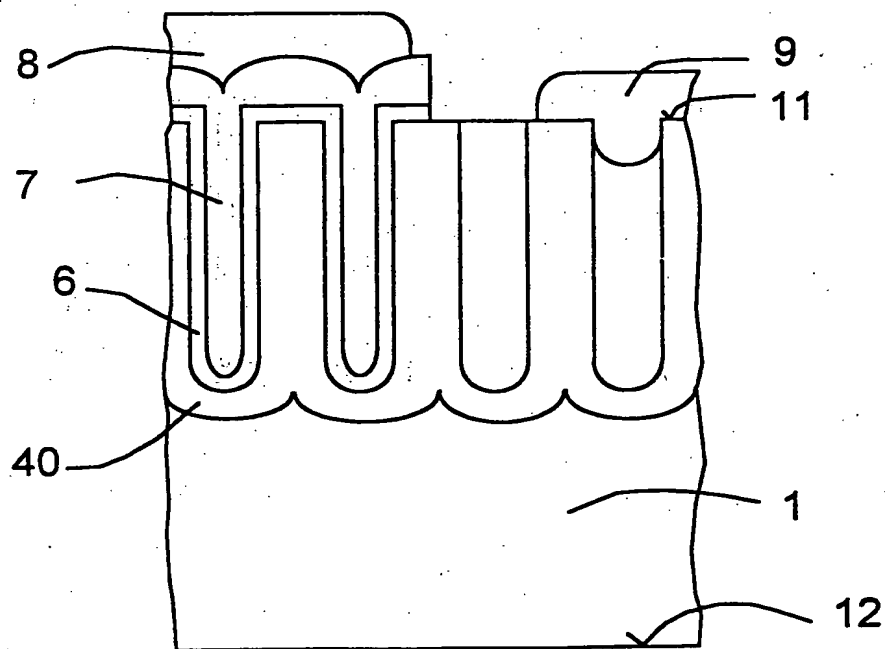


FIG 5

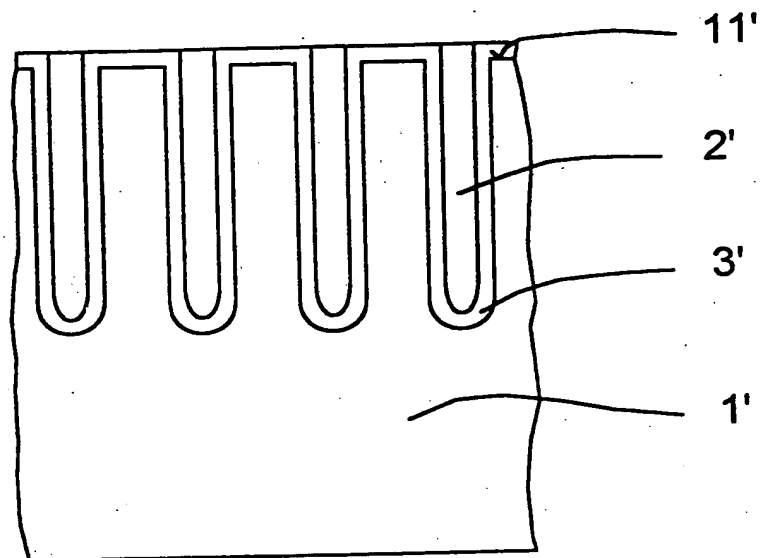


FIG 6

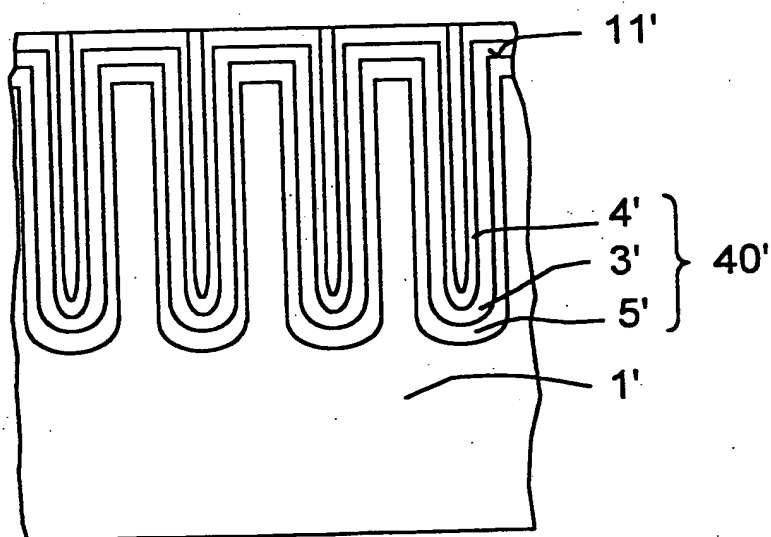


FIG 7

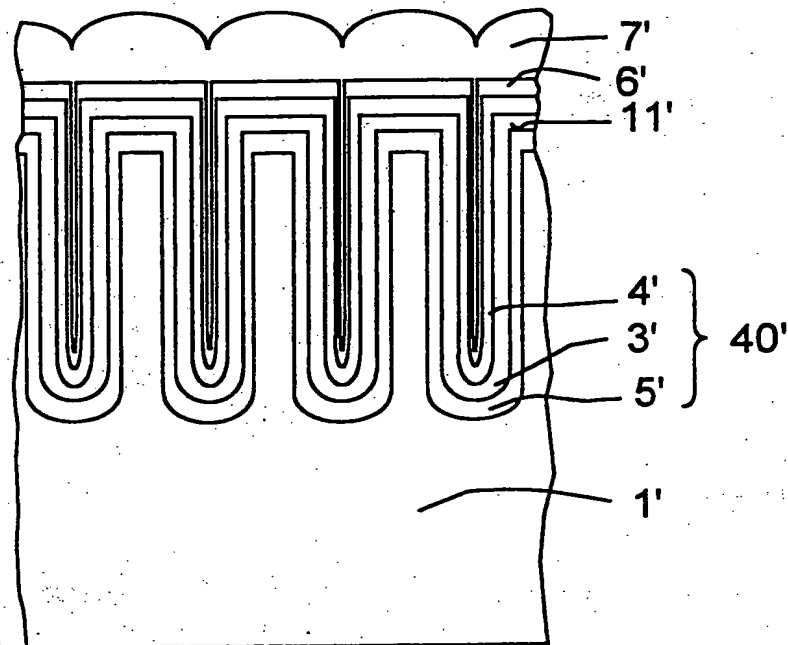


FIG 1

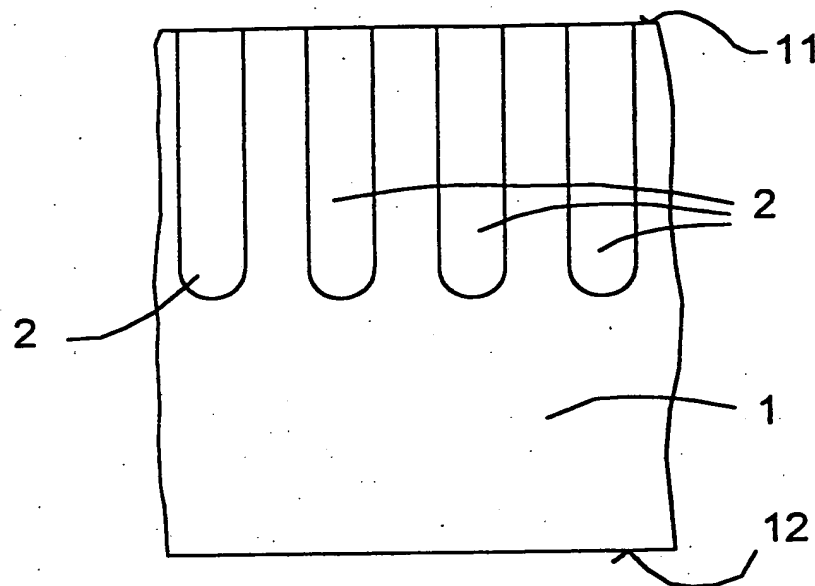
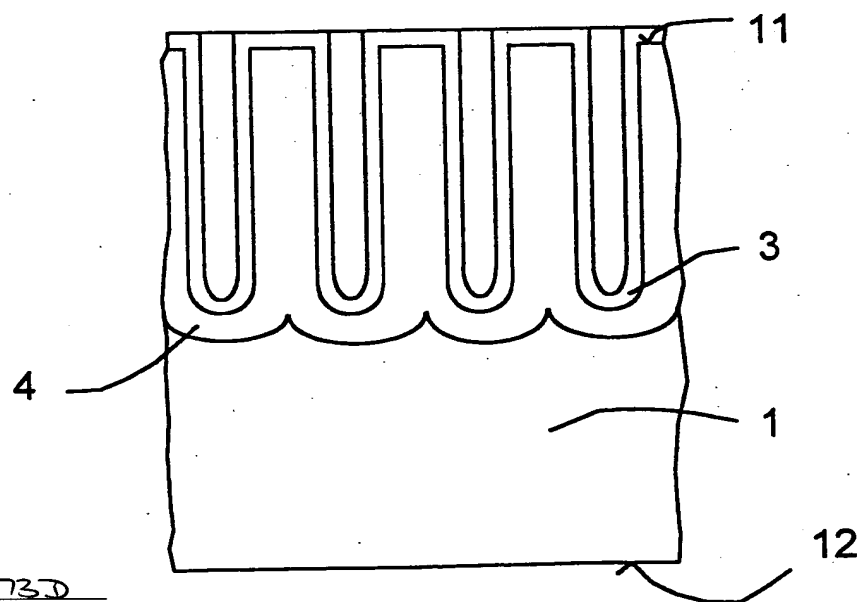


FIG 2



Docket # 02001, 0273D

Applic. # 101780, 075

Applicant: Goddard et al.

Lerner Greenberg Sterner LLP

Post Office Box 2480

Hollywood, FL 33022-2480

Tel: (954) 925-1100 Fax: (954) 925-1101